

## NILAI PARAMETER BIOKINETIKA PROSES DENITRIFIKASI LIMBAH CAIR INDUSTRI PERIKANAN PADA RASIO COD/TKN YANG BERBEDA

### *Biokinetic Parameter Values of Denitrification Process of Fishery Industrial Wastewater on Differentiated COD/TKN Ratios*

Bustami Ibrahim\*, Anna C. Erungan, Heriyanto

*Departemen Teknologi Hasil Perairan  
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan  
Institut Pertanian Bogor*

Diterima 15 April 2009/Disetujui 10 Mei 2009

### Abstract

Indonesian Fishery Industries has been developed very rapidly. This can cause negative effect such as increase in wastewater that involved highly organic substrates that will danger the environment. This effluent must be treated before flowed it to environment and usually treated by biological wastewater treatment through nitrification and denitrification process simultaneously using activated sludge. This study conducted denitrification process using activated sludge with treatment using different COD/TKN ratios which are 2.44, 2.96, and 3.26 and monitored in *Hydraulic Retention Time* (HRT) 4.5, 3.5, 2.5, 2.0, 1.5, 1.0, 0.75, 0.5 and 0.25 day. Result showed that for determining the biokinetic parameters such as  $K_s$ ,  $K_{no}$  (Monod Constant saturated),  $Y$  (yield),  $k_d$  (endogenous decay) also  $\mu_m$  result for range of COD/TKN ratios 2.44–3.26 are 3.04 are 14.93–17.26 mg/lCOD, 1.21–1.60 mg/l  $NO_3$ , 0.171–0.193 mg VSS/mg COD, 0.014–0.062 day<sup>-1</sup> and 1.64–0.97 day<sup>-1</sup>. These biokinetic parameters can be used to improve the wastewater treatment plant.

Keywords: activated sludge, biokinetic parameter, denitrification

### PENDAHULUAN

Air yang dibuang dari proses industri perikanan banyak mengandung nutrisi organik yang biasanya berupa nitrogen, dalam bentuk amoniak, nitrat dan nitrit, yang akan menyebabkan pencemaran pada badan air penerima, berupa penurunan kadar oksigen terlarut, merangsang pertumbuhan tanaman air, memunculkan toksisitas terhadap kehidupan air, masalah bahaya kesehatan masyarakat, dan mempengaruhi kelayakan untuk penggunaan kembali air (River *et al.* 1998). Selain itu limbah cair industri perikanan dapat pula menimbulkan bau yang mengganggu bagi masyarakat sehingga dapat menurunkan nilai estetika dari badan air.

---

\* Korespondensi: Bustami Ibrahim, Jl. Lingkar Akademik Kampus IPB Dramaga Bogor,  
Email: bustamibr@yahoo.com

Penanganan limbah cair yang mengandung nitrogen organik yang tinggi seperti pada limbah cair industri perikanan, dapat dilakukan dengan cara biologis melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi, yang pada umumnya dilakukan dalam suatu sistem yang berkelanjutan (Metcalf dan Eddy 1991). Proses denitrifikasi merupakan proses yang sulit dikendalikan, karena sangat tergantung pada kondisi lingkungan (ketersediaan oksigen), jenis mikroorganisme dan nutrisi yang tersedia bagi pertumbuhan *denitrifier*. Penelitian untuk menurunkan tingkat konsentrasi nitrat effluen perlu dilakukan agar effluen yang dihasilkan aman bagi lingkungan, karena air minum yang mengandung nitrit dan nitrat akan menyebabkan methemoglobinemia pada bayi dan terbentuknya senyawa karsinogenik nitrosamin (Sawyer dan McCarty 1978; Wiesmann 1994).

Perancangan proses yang menghasilkan effluen yang sesuai dan aman bagi lingkungan diperlukan karakteristik mikroorganisme denitrifikasi, yang dicirikan oleh parameter-parameter biokinetiknya yaitu: nilai  $Y$ ,  $\mu_m$ ,  $K_s$ ,  $k_d$  dan  $k$ . Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai-nilai parameter biokinetika dalam proses denitrifikasi dengan kondisi rasio COD/TKN yang berbeda-beda.

## METODE

### Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Oktober-November 2007, dan bertempat di beberapa laboratorium, yaitu Laboratorium Karakteristik Bahan Baku Hasil Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor (FPIK-IPB); Laboratorium Mikrobiologi FPIK-IPB; Laboratorium Biokimia FPIK-IPB dan Laboratorium Bioteknologi FPIK-IPB.

### Alat dan bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor *batch* yang dilengkapi dengan pengaduk yang digerakkan oleh motor listrik, aerator, dan alat-alat untuk pengujian COD, pH, Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*) dan MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solid*).

Bahan yang digunakan yaitu limbah cair buatan dan lumpur aktif. Limbah cair buatan dibuat menggunakan limbah padat pengolahan ikan (isi perut, kulit dan insang). Hal ini dilakukan untuk menjaga kestabilan karakteristik limbah cair yang digunakan untuk percobaan. Pembuatan limbah cair dilakukan menurut cara Fauzie *et al.* (2003) yakni: limbah potongan daging dan kulit ikan yang diperoleh dari proses pengolahan fillet ikan dicincang, selanjutnya direbus pada air mendidih selama 10 menit dengan rasio berat ikan (kg) dan volume air (liter) adalah 1:5. Air rebusan disaring untuk memisahkannya dari padatan dan ampas ikan. Setelah air rebusan yang disaring menjadi dingin, siap digunakan untuk percobaan. Lumpur aktif yang digunakan untuk penelitian diambil dari unit pengolahan limbah cair PT Unitex, Bogor.

### Metode Penelitian

Proses pengolahan limbah secara biologis yang terbagi menjadi 2 tahap yakni: 1) Proses aklimatisasi lumpur aktif; dan 2) proses denitrifikasi dengan pengkondisian rasio COD/TKN dengan penambahan glukosa. Tahap-tahap penelitian yaitu (Gambar 1):

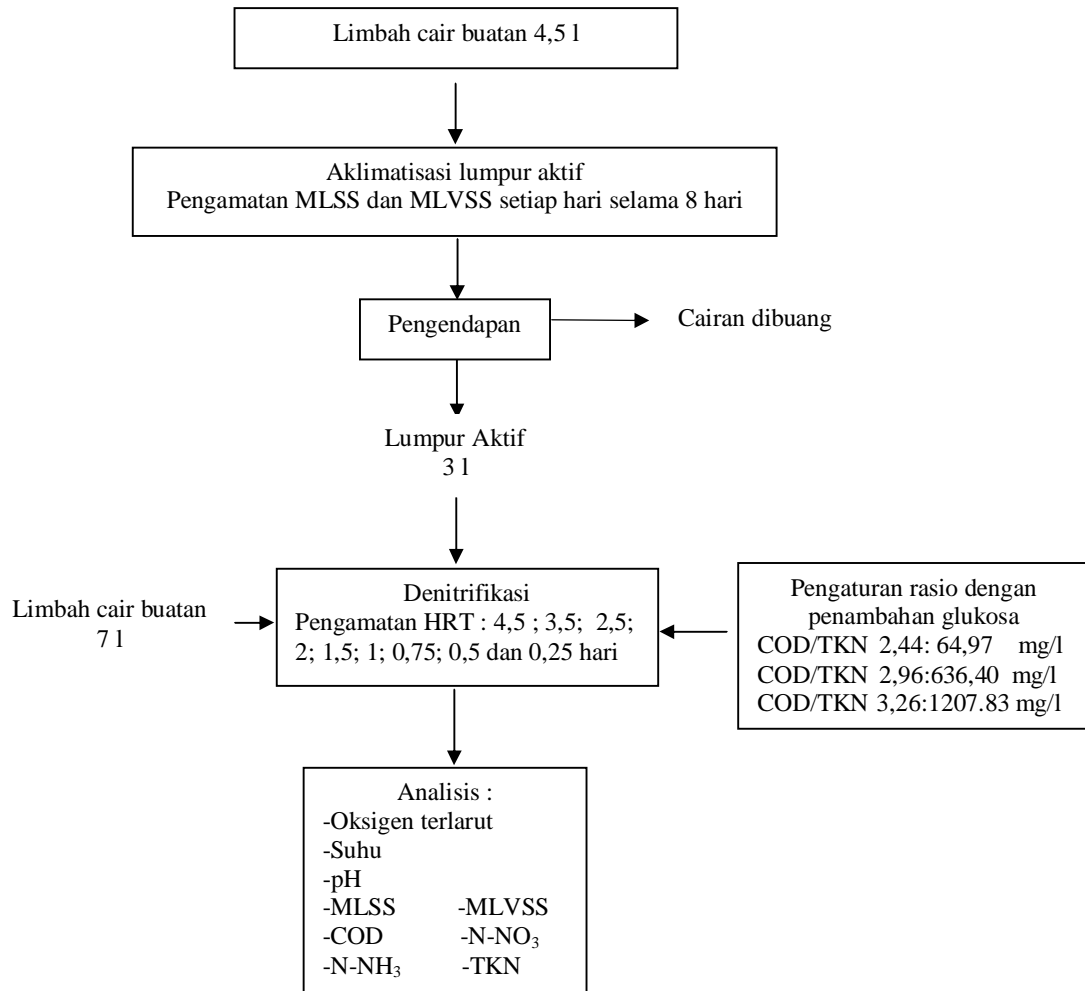
1) Aklimatisasi lumpur aktif.

Agar mikroorganisme dapat beradaptasi dengan substrat limbah cair perikanan, lumpur aktif diaklimatisasi lebih dulu dengan diaerasi dalam reaktor aerobik. Perbandingan antara lumpur aktif dan limbah cair yaitu 30%:70%. Proses dilakukan pada suhu ruang (29-31 °C), dan pada kisaran pH 6,6-7,6. Pertumbuhan bakteri ditandai dengan perubahan warna suspensi coklat kehitaman menjadi coklat dan terjadi peningkatan MLVSS dan MLSS.

2) Proses denitrifikasi dengan penambahan glukosa

Penambahan karbon eksternal (glukosa) dilakukan untuk mengatur rasio COD/TKN dimana pada penelitian ini rasio COD/TKN diadaptasi berdasarkan Wisnuprpto *et al.* (1984) yang dibagi menjadi 3 bagian, yaitu 4,00; 3,00; dan 2,00. Nilai COD influen digunakan sebagai nilai COD, kemudian karbon eksternal (glukosa) ditambahkan kedalam reaktor sesuai dengan rasio yang telah ditentukan. Analisis dilakukan dengan pengamatan

*Hydraulic Retention Time* (HRT), yaitu 4,0; 3,5; 2,5; 2,0; 1,5; 1,0; 0,75; 0,5 dan 0,25 hari.



Gambar 1. Diagram alir tahapan pelaksanaan penelitian

### Pengolahan Data

Hasil analisis yang telah didapatkan selanjutnya digunakan untuk menentukan parameter kinetik dari hasil proses denitrifikasi, parameter yang digunakan yaitu COD, MLVSS dan  $\text{NO}_3$ .

Data yang diperoleh dari hasil analisis selanjutnya diolah untuk menentukan parameter kinetika nilai  $Y$ ,  $\mu_m$ ,  $K_s$ ,  $k_d$  dan  $k$  yakni :

- Nilai  $K_s$  dan  $k$

Nilai  $k$  dan  $K_s$  dapat dianalisis dengan menggunakan persamaan berikut (Metcalf dan Eddy, 1991):

$$\frac{X \theta}{S_0 - S} = \frac{K_s}{k} \frac{1}{S} + \frac{1}{k} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{dan} \quad \frac{X \theta}{S_0 - S} = \frac{1}{U}$$

Dimana:  $X$  : Kosentrasi biomassa, mg/l  
 $\theta$  : Waktu tinggal hidrolis, hari  
 $S_0$  : Kosentrasi substrat influen, mg/l  
 $S$  : Kosentrasi substrat, mg/l  
 $K_s$  : Kosentrasi substrat pada separuh nilai laju pertumbuhan maksimum, mgCOD/l.  
 $k$  : Konstanta laju maksimum penggunaan substrat per mg mikroorganisme  
 $U$  : Laju spesifik penggunaan substrat

Plotkan nilai  $(X\theta/S_0 - S)$  terhadap  $(1/S)$  dan buat garis regresinya nilai intercept merupakan  $1/k$  dan nilai slope merupakan nilai  $K_s/k$ .

- Nilai  $Y$  dan  $k_d$

Nilai  $Y$  dan  $k_d$  dapat dianalisis dengan menggunakan persamaan berikut (Metcalf dan Eddy 1991) :

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \frac{S_0 - S}{X \theta} - k_d \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:  $\theta_c$  = Waktu tinggal lumpur, hari

$k_d$  = Koefisien perombakan endogenous, hari<sup>-1</sup>

$Y$  = Koefisien maksimum perolehan (*yield*), mgMLVSS/mgCOD

Pada penelitian ini menggunakan metode *batch* tanpa sirkulasi sehingga plot data merupakan modifikasi menurut Pala dan Bolukbas (2004) dan Wisnuprpto *et al.* (1984).

Plotkan nilai  $(1/\theta_c)$  terhadap  $(u)$  dan buat garis regresinya nilai intercept merupakan  $k_d$  dan slope merupakan nilai  $Y$

- Nilai  $\mu_m$

Nilai  $\mu_m$  dapat dianalisis menggunakan persamaan berikut (Metcalf dan Eddy 1991) :

$$\mu_m = k Y \dots\dots\dots (3)$$

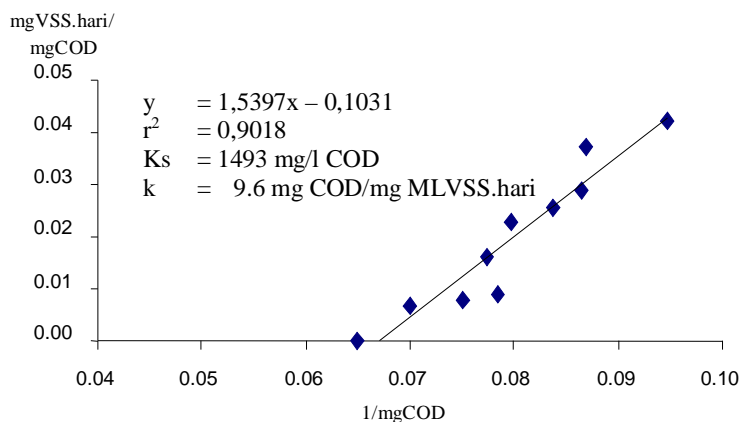
Dimana:  $\mu_m$  = Laju pertumbuhan spesifik maksimum bakteri,  $\text{hari}^{-1}$

$k$  = Konstanta laju maksimum penggunaan substrat  
per mg mikroorganisme

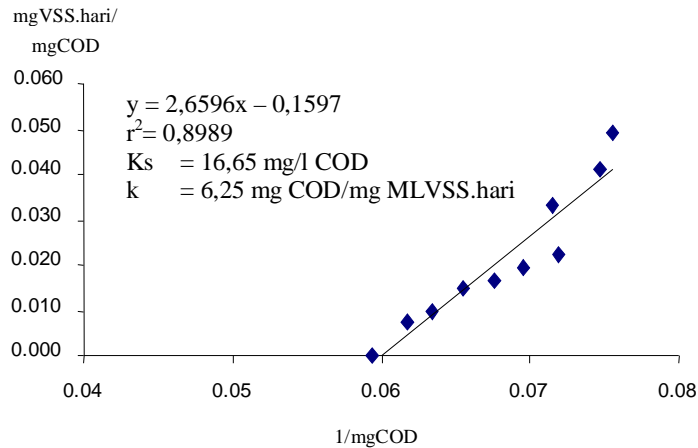
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Koefisien Konstanta Paruh ( $K_s$ ) dan $K_{no}$

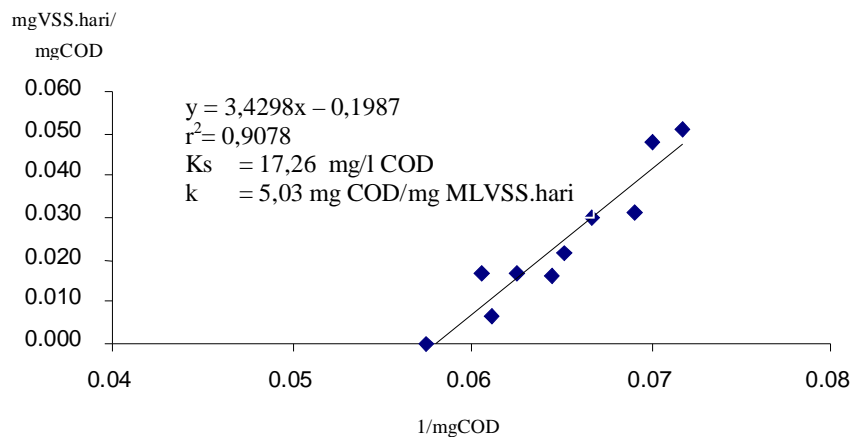
$K_s$  merupakan besarnya konsentrasi substrat COD pada saat laju pertumbuhan spesifik sama dengan separuh laju pertumbuhan maksimum, sedangkan  $K_{no}$  menggunakan substrat nitrat (Barnes dan Bliss 1983). Grady dan Lim (1980) menyatakan bahwa variabel  $K_s$  menunjukkan kepekaan konsentrasi substrat terhadap pertumbuhan biomassa. Hasil penentuan dapat dilihat pada Gambar 2-4.



Gambar 2. Hubungan  $\frac{1}{S}$  ( $1/\text{mgCOD}$ ) dengan  $\frac{1}{U}$  ( $\text{mgVSS.hari/mgCOD}$ ) seperti pada persamaan (1) pada rasio COD/TKN 2,44



Gambar 3. Hubungan  $\frac{1}{S}$  (1/mgCOD) dengan  $\frac{1}{U}$  (mgVSS.hari/mgCOD) seperti pada persamaan (1) pada rasio COD/TKN 2,96

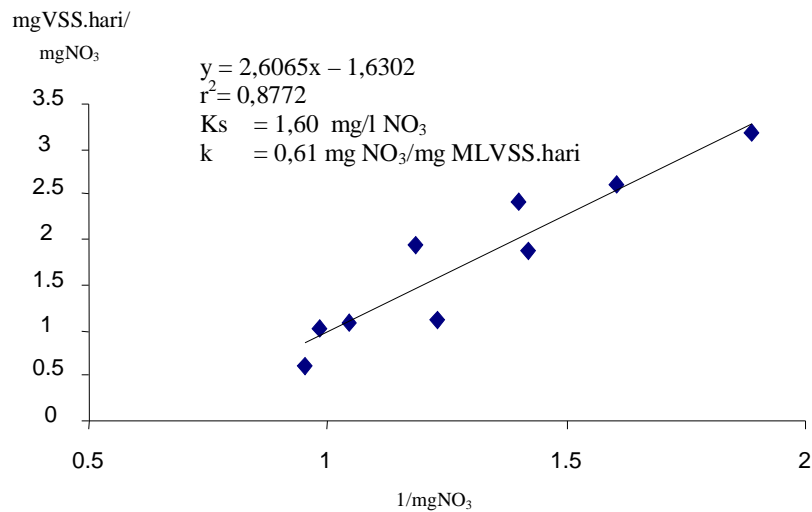


Gambar 4. Hubungan  $\frac{1}{S}$  (1/mgCOD) dengan  $\frac{1}{U}$  (mgVSS.hari/mgCOD) seperti pada persamaan (1) pada rasio COD/TKN 3,26

Hasil pengamatan dengan substrat COD didapatkan nilai  $K_s$  sebesar 14,93 mg/l COD untuk rasio COD/TKN 2,44, 16,65 mg/l COD untuk rasio COD/TKN 2,96 dan 17,26 mg/l COD untuk rasio COD/TKN 3,26. Dari hasil pengamatan terlihat nilai  $K_s$  cenderung meningkat pada rasio yang semakin tinggi, hal ini sesuai dengan Wisnuprpto *et al.* (1984). Dari nilai  $K_s$  tersebut dapat menggambarkan bahwa banyak substrat COD yang sulit terdegradasi dan dapat pula dipengaruhi oleh karakteristik lumpur yang digunakan. Namun nilai  $K_s$

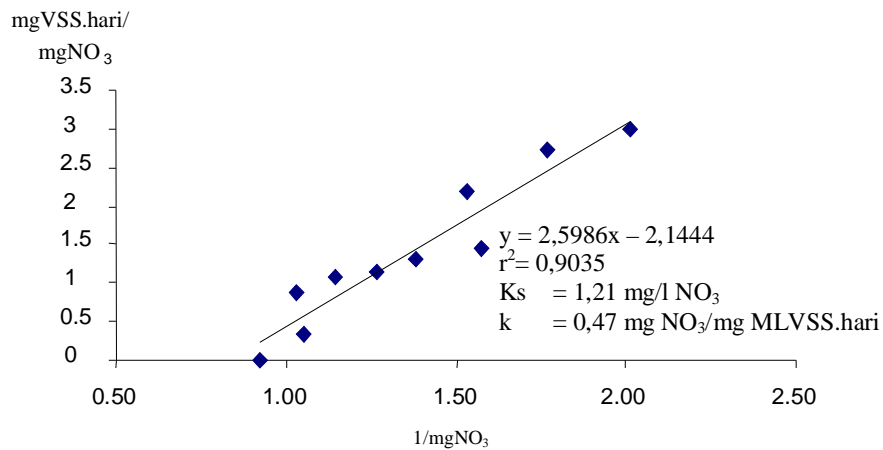
yang diperoleh masih sesuai dengan kisaran nilai yang telah dilakukan oleh Naidoo (1999), yang menyatakan bahwa kisaran nilai  $K_s$  untuk proses denitrifikasi dengan metode *batch* yakni 10-20 mg/l COD. Selain itu, Metcalf dan Eddy (1991) menyatakan bahwa kisaran nilai  $K_s$  untuk proses lumpur aktif dalam limbah domestik yakni 15-70 mg/l COD.

Parameter biokinetika  $K_{no}$  merupakan konstanta paruh menggunakan substrat  $NO_3$ , penentuan parameter ini juga menggunakan metode grafik sama seperti parameter  $K_s$  hanya substrat yang digunakan  $NO_3$ , hasil penentuan dapat dilihat pada Gambar 5-7.

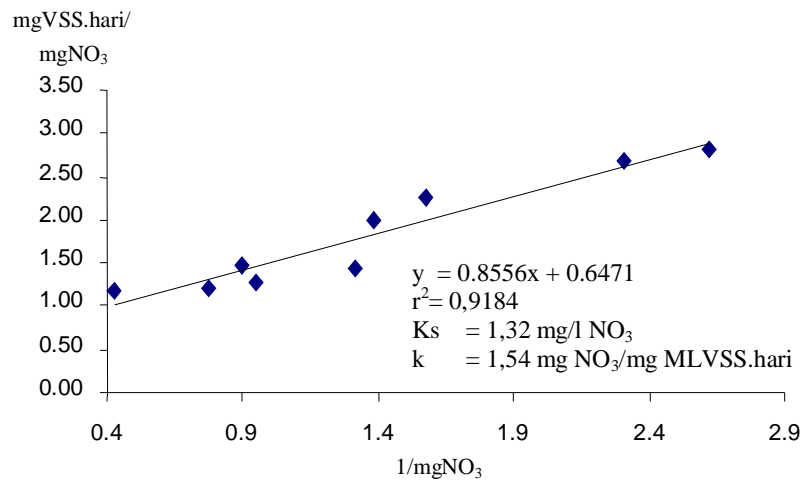


Gambar 5. Hubungan  $\frac{1}{S}$  ( $1/mgNO_3$ ) dengan  $\frac{1}{U}$  ( $mgVSS.hari/mgNO_3$ ) seperti pada persamaan (1) pada rasio COD/TKN 2,44





Gambar 6. Hubungan  $\frac{1}{S}$  ( $1/\text{mgNO}_3$ ) dengan  $\frac{1}{U}$  ( $\text{mgVSS.hari}/\text{mgNO}_3$ ) seperti pada persamaan (1) pada rasio COD/TKN 2,96



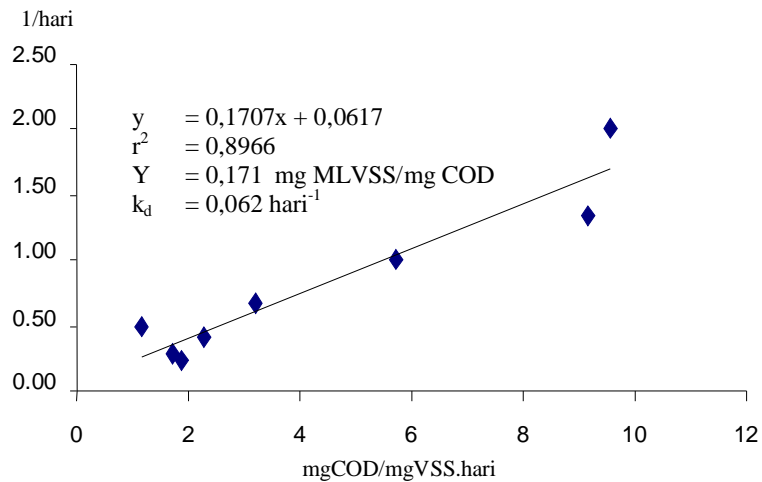
Gambar 7. Hubungan  $\frac{1}{S}$  ( $1/\text{mgNO}_3$ ) dengan  $\frac{1}{U}$  ( $\text{mgVSS.hari}/\text{mgNO}_3$ ) seperti pada persamaan (1) pada rasio COD/TKN 3,26

Hasil pengamatan  $K_{no}$  pada ketiga rasio didapatkan nilai sebesar 1,60 mg/l NO<sub>3</sub> untuk rasio COD/TKN 2,44 dan 1,21 mg/l NO<sub>3</sub> untuk rasio COD/TKN 2,96 serta 1,32 mg/l NO<sub>3</sub> pada rasio COD/TKN 3,26. Menurut Naidoo (1999) kisaran nilai  $K_{no}$  untuk proses denitrifikasi dengan metode *batch* yakni 0,2-0,5 mg/l NO<sub>3</sub>. Dari hasil pengamatan pada ketiga rasio nilai  $K_{no}$  terlihat lebih tinggi daripada

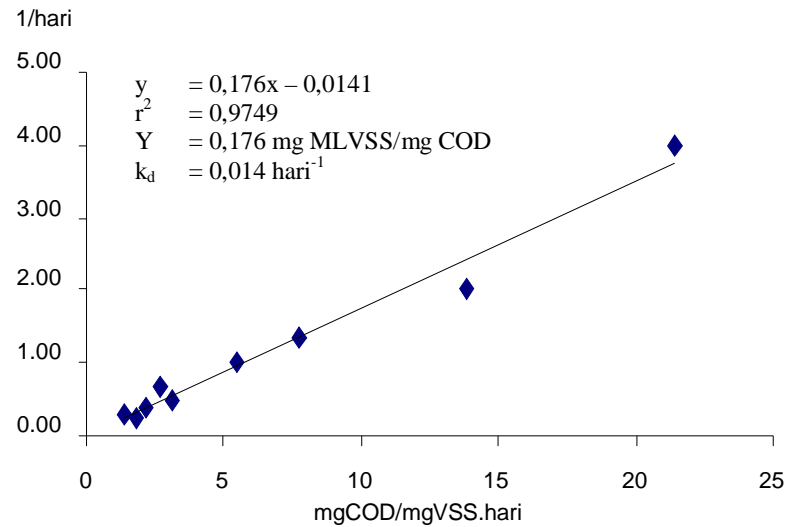
literatur, hal ini dapat disebabkan oleh tingginya nilai amoniak yang terdapat dalam air limbah karena amoniak yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme (Grady dan Lim 1980).

### Koefisien Perombakan Endogenous ( $k_d$ ) dan Yield (Y)

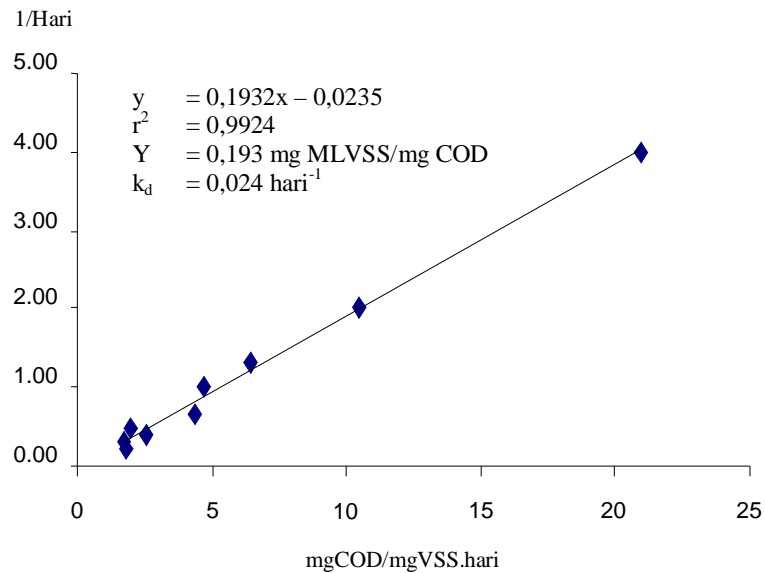
Penentuan nilai Y dan  $k_d$  pada penelitian ini didasarkan pada substrat COD karena diasumsikan bahwa produksi biomassa diperhitungkan sebagai pertumbuhan mikroorganisme heterotrop dan akumulasi organisme fosfat. (Ouyang *et al.* 1998). Hasil penentuan Y dan  $k_d$  dapat dilihat pada Gambar 8-10.



Gambar 8. Hubungan  $U$  (mgCOD/mgVSS.hari) dengan  $\frac{1}{\theta_c}$  (1/hari) seperti persamaan (2) pada rasio COD/TKN 2,44



Gambar 9. Hubungan  $U$  (mgCOD/mgVSS.hari) dengan  $\frac{1}{\theta_c}$  (1/hari) seperti persamaan (2) pada rasio COD/TKN 2,96



Gambar 10. Hubungan  $U$  (mgCOD/mgVSS.hari) dengan  $\frac{1}{\theta_c}$  (1/hari) seperti persamaan (2) pada rasio COD/TKN 3,26

Hasil pengamatan menunjukkan nilai  $k_d$  0,062 hari<sup>-1</sup> pada rasio COD/TKN 2,44, 0,014 hari<sup>-1</sup> pada rasio COD/TKN 2,96 dan 0,024 pada rasio COD/TKN 3,26 hari<sup>-1</sup>. Naidoo (1999) dalam penelitiannya memperoleh kisaran nilai  $k_d$  yakni 0,05-0,4 hari<sup>-1</sup>, nilai  $k_d$  lebih kecil memperlihatkan bahwa penggunaan energi untuk endogenous mikroorganisme rendah, sehingga kemampuan mikroorganisme dalam mengkonsumsi substrat menjadi rendah.

Nilai  $Y$  yang diperoleh pada rasio COD/TKN 2,44 adalah 0,171 mg VSS/mg COD, pada rasio COD/TKN 2,96 sebesar 0,176 mg VSS/mg COD, dan pada rasio COD/TKN 3,26 sebesar 0,193 mgVSS/mgCOD. Peningkatan nilai  $Y$  tersebut memperlihatkan bahwa perolehan biomassa (*yield*) meningkat dengan meningkatnya rasio COD/TKN (Tabel 1). Hal ini disebabkan adanya kemungkinan peningkatan sumber N lain selain nitrat. Menurut Van Loosdrecht dan Jetten (1998) proses asimilasi reduksi nitrat terjadi jika tidak tersedia sumber N yang lain selain nitrat. Dalam kondisi ini N-nitrat dikonversi menjadi N-amonia untuk digunakan sebagai komponen sel dalam biosintesis.

#### Koefisien Laju Pertumbuhan Maksimum ( $\mu_m$ )

Parameter  $\mu_m$  didapatkan dari hasil perkalian antara  $k$  dengan  $Y$  seperti pada persamaan (3), dan hasilnya seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Parameter  $\mu_m$  pada Rasio COD/TKN

Rasio COD/TKN	$k$ (mg COD/mg MLVSS.hari)	$Y$ (mg MLVSS/mg COD)	$\mu_m$ (hari <sup>-1</sup> )
2,44	9,6	0,171	1,64
2,96	6,25	0,176	1,10
3,26	5,03	0,193	0,97

Nilai  $\mu_m$  yang didapatkan dari substrat COD pada penelitian ini yakni pada rasio COD/TKN 2,44 sebesar 1,64 hari<sup>-1</sup> dan pada rasio COD/TKN 2,96 sebesar 1,10 hari<sup>-1</sup> serta pada rasio COD/TKN 3,26 sebesar 0,97 hari<sup>-1</sup>. Pada Tabel 2 terlihat bahwa semakin tinggi nilai rasio COD/TKN akan menyebabkan nilai  $\mu_m$  semakin rendah. Hal ini berbanding terbalik dengan nilai  $K_s$ . Menurut Grady dan Lim (1980) konstanta  $K_s$  menunjukkan kepekaan substrat terhadap

pertumbuhan biomassa. Sehingga semakin tinggi komposisi N dalam substrat akan meningkatkan laju pertumbuhan maksimum ( $\mu_m$ ). Jika dibandingkan dengan hasil peneliti lain, nilai  $\mu_m$  yang diperoleh masih berada dalam kisaran. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh jenis substrat dan mikroba yang aktif (Tabel 2).

Tabel 2. Rekapitulasi Nilai Parameter Kinetik

Parameter	Rasio COD/TKN			Kisaran
	2,44	2,96	3,26	
$K_s$ (mg/l COD)	14,93	16,65	17,26	10-20 <sup>a</sup>
$K_{no}$ (mg/l $NO_3$ )	1,60	1,21	1,32	0,2-0,5 <sup>b</sup>
$k_d$ (hari <sup>-1</sup> )	0,045	0,014	0,024	0,05-0,4 <sup>b</sup>
Y (mg VSS/mg COD)	0,171	0,176	0,193	0,31-0,7 <sup>b</sup>
$\mu_m$ (hari <sup>-1</sup> )	1,64	1,10	0,97	0,6-6 <sup>c</sup>

Keterangan: a. Metcalf dan Eddy (1991)

b. Naidoo (1999)

c. Pala dan Bolukbas (2004)

d. Karnaros dan Lyberatos (1998)

## KESIMPULAN

Nilai  $K_s$  pada cenderung meningkat pada rasio COD/TKN yang semakin tinggi. Kisaran nilai  $K_s$  pada rasio COD/TKN 2,44–3,26 adalah sebesar 14,934 mg/l COD–17,26 mg/l COD. Nilai  $K_{no}$  relatif stabil pada ketiga rasio COD/TKN yang meningkat. Kisaran nilai  $K_{no}$  yang diperoleh pada selang rasio COD/TKN 2,44–3,26 adalah sebesar 1,21 mg/l  $NO_3$ –1,60 mg/l  $NO_3$ .

Pada rasio COD/TKN yang sama diperoleh nilai  $k_d$  berkisar antara 0,014 hari<sup>-1</sup> sampai 0,062 hari<sup>-1</sup> dan nilai Y yang diperoleh adalah berkisar antara 0,1707 mg VSS/mg COD–0,1932 mg VSS/mg COD. Dari nilai Y diatas terlihat bahwa perolehan biomassa (*yield*) meningkat dengan meningkatnya rasio COD/TKN. Semakin tinggi nilai rasio COD/TKN akan menyebabkan nilai  $\mu_m$  semakin rendah. Nilai  $\mu_m$  yang didapatkan berkisar antara 0,97 hari<sup>-1</sup> sampai 1,64 hari<sup>-1</sup>.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Barnes D, Bliss PJ. 1983. *Biological Control of Nitrogen in Wastewater Treatment*. London: E.&F.N SPON.
- Fauzi AM, Romli M, Ismayana A, Ibrahim B. 2003. Optimisasi Proses Sistem Anoksik-Aerobik Untuk Penyisihan Nitrogen dalam Limbah Cair Industri Hasil Perikanan. Makalah pada Seminar Hibah Bersaing X , November 2003, Bogor.
- Grady CPL Jr, Lim H. 1980. *Biological Wastewater Treatment. Theory and Applications*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Jenie BSL, Rahayu WP. 1993. *Penanganan Limbah Indutri Pangan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Kornaros M, Lyberatos G. 1998. Kinetic modelling of *Pseudomonas denitrificans* growth and denitrification under aerobic, anoxic and transient operating conditions. *Journal Water Research* 32:1912-1922.
- Metcalf, Eddy. 1991. *Wastewater Engineering Treatment. Disposal and Reuse* 3<sup>rd</sup> ed. Singapore: McGraw Hill. Inc.
- Naidoo V. 1999. Municipal Wastewater Characterization, Application of Denitrification Batch Tests. Paper. Departement of Chemical Engineering. Durban: University of Natal.
- Ouyang Chaio-Fuei, Shun-Hsing Chuang,, Jau-Lang Su. 1998. Nitrogen and phosphorus removal in a combined activated sludge - RBC process. Review paper. *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A)*. 23(2):181-204.
- Pala A, Bolukbas O. 2005. Evaluation of kinetic parameters for biological CNP removal from a municipal wastewater trough batch tests. *Process Biochemistry*. 40:629-635.
- Pirbazari M, Ravindran V, Badriyah BN, Kim SH. 1996. Hybrid membranes filtration process for leachate treatment. *Water Research* 2:2691-2706.
- River LE, Espe E, Roeckel M, Marti MC. 1998. Evaluation of clean technology process in the marine product processing industry. *Journal Chemical Technology and Biotechnology* 73:217-226.
- Sawyer CN dan McCarty PLC. 1978. *Chemistry for Environmental Engineering*. 3<sup>rd</sup> edition. New York:McGraw-Hill.
- Van Loosdrecht MCM dan Jetten MSM. 1998. Microbiological Conversion in Nitrogen Removal. *Water Science Technology* 38(1):1-7.

Wiesmann U. 1994. Biological Nitrogen Removal from Wastewater. *Adv. In Biochemical Engineering/Biotechnology*. A. Fiechter (ed) Vol. 51(114-154).

Wisnuprpto CB dan Nugroho L. 1984. Studi Kinetika dari Proses Denitrifikasi (Bagian I). Laporan Penelitian. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.